

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 966 627**

51 Int. Cl.:

G16H 50/50 (2008.01)

G16H 50/20 (2008.01)

G16H 20/30 (2008.01)

G16H 20/40 (2008.01)

A61C 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.05.2018 E 18175040 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.09.2023 EP 3410443**

54 Título: **Método para determinar un tratamiento de ortodoncia**

30 Prioridad:

30.05.2017 FR 1754755

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

23.04.2024

73 Titular/es:

**DENTAL MONITORING (100.0%)
75, rue de Tocqueville
75017 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**SALAH, PHILIPPE;
PELLISSARD, THOMAS;
GHYSELINCK, GUILLAUME y
DEBRAUX, LAURENT**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 966 627 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para determinar un tratamiento de ortodoncia

5 **Campo técnico**

Esta invención hace referencia a un método para determinar un punto de inflexión a partir del cual un paciente que lleva un aparato de ortodoncia de bráquets y arco llevará una o más férulas de ortodoncia.

10 La invención también hace referencia a un programa informático para la implementación de este método.

Técnica anterior

15 Entre los aparatos de ortodoncia se distinguen los aparatos de ortodoncia de bráquets y arco, por una parte, y las férulas de ortodoncia, por otra parte.

Un aparato de ortodoncia de bráquets y arco comprende bráquets o "brackets" fijados a los dientes y conectados entre sí por medio de un arco, tradicionalmente de un material con memoria de forma. Ejerce una acción rápida sobre el desplazamiento de los dientes del paciente tratado. Sin embargo, esta acción disminuye progresivamente, por lo que el paciente debe acudir periódicamente al ortodontista con el fin de modificar el ajuste o cambiar la posición del arco. Además, un aparato de ortodoncia de bráquets y arco suele ser antiestético.

25 Una férula, o "aligner" en inglés, se presenta tradicionalmente en forma de un aparato desmontable de una sola pieza, generalmente de un material polimérico transparente. Consta de una canaleta conformada de manera que se puedan alojar en ella varios dientes de una arcada, generalmente todos los dientes de una arcada. La forma de la canaleta se adapta para mantener en posición la férula sobre los dientes, corrigiendo al mismo tiempo la posición de determinados dientes. La acción inicial de una férula de ortodoncia es más lenta que la de un aparato de ortodoncia de bráquets y arco. Sin embargo, resulta ventajoso que la férula pueda ser sustituida por el propio paciente. Además, las férulas son más discretas que los aparatos de bráquets y arco.

30 El tratamiento de ortodoncia "mixto" permite a los pacientes beneficiarse de las ventajas de ambos tipos de aparatos de ortodoncia. De hecho, suele constar de una primera fase de tratamiento durante la cual el paciente lleva un aparato de ortodoncia, o "fase de arco", seguida, a partir de un punto de inflexión, de una segunda fase de tratamiento por medio de férulas de ortodoncia, o "fase de férulas". Acto seguido, el tratamiento continúa con férulas.

35 La técnica anterior más próxima se describe en los documentos US 2005/026102 A1, FR 3027505 A1, US 2016/310235 A1 y US 2016/228212 A1. Sigue existiendo la necesidad de un método para optimizar un tratamiento mixto, en particular para reducir su duración.

40 Uno de los objetivos de la invención es satisfacer esta necesidad.

Resumen de la invención

45 La invención proporciona un método para determinar, mediante la implementación de un programa informático, un punto de inflexión óptimo de un tratamiento de ortodoncia mixto de los dientes de un paciente, comprendiendo dicho método las siguientes operaciones:

50 1) preferiblemente al inicio del tratamiento o antes del inicio del tratamiento, realizar un modelo tridimensional digital de al menos una parte de una arcada que contenga dichos dientes, o "modelo de referencia inicial", y para cada uno de dichos dientes, definir un modelo de referencia tridimensional digital de dicho diente en el modelo de referencia inicial, o "modelo de diente";

55 2) después de la operación 1), preferiblemente al inicio del tratamiento o antes del inicio del tratamiento, deformar el modelo de referencia inicial, desplazando los modelos de dientes, hasta que dichos modelos de dientes se encuentren en una colocación objetivo, con el fin de obtener un "modelo de referencia objetivo",

60 3) después de la operación 2), en un momento de una fase del tratamiento durante la cual el paciente lleva un aparato de ortodoncia de bráquets y arco, denominado "instante actual", adquirir, por medio de un dispositivo de adquisición de imágenes, al menos una imagen bidimensional de dichos dientes, denominada "imagen actualizada", en condiciones reales de adquisición;

65 4) deformar el modelo de referencia inicial, desplazando los modelos de dientes, hasta que dicha al menos una imagen actualizada corresponda a una vista del modelo de referencia inicial deformado de este modo, denominado "modelo de referencia actualizado", realizándose preferiblemente la búsqueda del modelo de referencia actualizado por medio de un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente por recocido simulado;

5) determinar, a partir de dicho modelo de referencia actualizado y de dicho modelo de referencia objetivo, varios escenarios de tratamiento residuales para desplazar dichos dientes desde su posición representada en el modelo de referencia actualizado hasta su posición representada en el modelo de referencia objetivo, comprendiendo cada escenario, a partir de un punto de inflexión, al menos una fase de tratamiento por medio de una férula de ortodoncia;

6) determinar, para cada escenario, un perfil que comprenda al menos un valor para un parámetro de evaluación seleccionado del grupo formado por:

- la duración del tratamiento residual de dicho escenario;
- la duración del tratamiento completo;
- un coeficiente de complejidad clínica o "puntuación de gravedad";
- un coeficiente de dolor para el tratamiento residual de dicho escenario,
- un coeficiente de dolor para el tratamiento completo;
- la duración de la(s) fase(s) de tratamiento por medio de un arco de ortodoncia de bráquets y arco durante el tratamiento residual;
- un coeficiente de comodidad para el tratamiento residual de dicho escenario,
- un coeficiente de comodidad para el tratamiento completo;
- un coste para el tratamiento residual de dicho escenario,
- el coste para el tratamiento completo,
- en función de los parámetros de evaluación anteriores;

7) evaluación de cada perfil por medio de una regla de evaluación; y

8) utilizar el escenario con el perfil óptimo, o "escenario óptimo", para determinar un punto de inflexión óptimo para sustituir el aparato de ortodoncia de bráquets y arco por una férula.

Como se verá con más detalle más adelante en la descripción, un método de acuerdo con la invención permite adaptar el tratamiento a limitaciones específicas, y en particular a las limitaciones impuestas por el paciente. Por ejemplo, si el paciente impone una duración máxima del tratamiento de seis meses y una fase de férulas lo más larga posible, el método de acuerdo con la invención se puede utilizar para probar diferentes escenarios con el fin de encontrar el perfil que mejor responda a esta necesidad.

Las operaciones 5) a 8) pueden ser sucesivas o no. Cuando son sucesivas, se denominan "etapas" 5') a 8'), respectivamente.

En una forma de realización preferida, se anidan y constituyen los etapas sucesivas 5") a 8») siguientes:

5") determinar, a partir de dicho modelo de referencia actualizado y de dicho modelo de referencia objetivo, un escenario de tratamiento residual para desplazar dichos dientes desde su posición representada en el modelo de referencia actualizado hasta su posición representada en el modelo de referencia objetivo, comprendiendo un escenario de tratamiento residual, a partir de un punto de inflexión, al menos una fase de tratamiento por medio de una férula de ortodoncia;

6") determinar, para dicho escenario, un perfil que comprenda al menos un valor para un parámetro de evaluación seleccionado del grupo formado por:

- la duración del tratamiento residual de dicho escenario;
- duración del tratamiento completo;
- un coeficiente de complejidad clínica o "puntuación de gravedad";
- un coeficiente de dolor para el tratamiento residual de dicho escenario;

- un coeficiente de complejidad clínica;
 - un coeficiente de dolor para el tratamiento completo;
 - 5 - la duración de la(s) fase(s) de tratamiento por medio de un arco de ortodoncia de bráquets y arco durante el tratamiento residual;
 - un coeficiente de comodidad para el tratamiento residual de dicho escenario,
 - 10 - un coeficiente de comodidad para el tratamiento completo;
 - un coste para el tratamiento residual de dicho escenario,
 - un coste para el tratamiento completo,
 - 15 - una función de los parámetros de evaluación anteriores;
- 7") evaluación del perfil por medio de una regla de evaluación y, si el perfil no es óptimo con respecto a la regla de evaluación, determinar un nuevo escenario de tratamiento residual y reanudación en la etapa 6");
- 20 8") determinar, a partir del escenario con el perfil óptimo, o "escenario óptimo", un punto de inflexión óptimo para sustituir el aparato de ortodoncia de bráquets y arco por una férula.
- 25 Preferiblemente, un método de acuerdo con la invención también tiene una o más de las siguientes características opcionales:
- más de 5, 10, 50 o 100 escenarios se determinan en la operación 5);
 - en la operación 3), la imagen actualizada se toma por medio de un aparato de adquisición de imágenes seleccionado del grupo formado por un teléfono móvil, una cámara conectada, un reloj inteligente, una tableta y/o un ordenador personal fijo o portátil;
 - la operación 4) comprende las siguientes etapas:
 - 35 c) análisis de la imagen actualizada y elaboración de un mapa actualizado relativo a la información discriminatoria;
 - 40 d) opcionalmente, determinar, para la imagen actualizada, unas condiciones de adquisición virtuales bastas que se aproximen a las condiciones de adquisición reales de dicha imagen actualizada;
 - 45 e) buscar, para la imagen actualizada, un modelo de referencia actualizado que corresponda a la colocación de los dientes cuando se adquirió la imagen actualizada, realizándose la búsqueda preferiblemente por medio de un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente por recocido simulado;
 - la etapa e) comprende las etapas siguientes:
 - 50 e1) definir un modelo de referencia que se probará como modelo de referencia inicial y, a continuación,
 - 55 e2) según las etapas siguientes, probar las condiciones virtuales de adquisición con el modelo de referencia a probar con el fin de aproximar finamente dichas condiciones reales de adquisición;
 - e21) determinar las condiciones de adquisición virtuales a probar;
 - 60 e22) producir una imagen de referencia bidimensional del modelo de referencia a probar bajo dichas condiciones virtuales de adquisición a probar;
 - e23) procesar la imagen de referencia para producir al menos un mapa de referencia que represente, al menos parcialmente, dicha información discriminatoria;
 - 65 e24) comparar los mapas actualizado y de referencia para determinar un valor para una primera función de evaluación; dependiendo dicho valor para la primera función de evaluación de las diferencias entre dichos mapas actualizado y de referencia y correspondiendo a una decisión de continuar o detener la búsqueda de condiciones de adquisición virtuales que se aproximen a dichas

condiciones de adquisición reales con mayor precisión que dichas condiciones de adquisición virtuales a probar determinadas en la última ocurrencia del etapa e21);

5 e25) si dicho valor para la primera función de evaluación corresponde a una decisión de continuar dicha búsqueda, modificar las condiciones de adquisición virtual a probar y, a continuación, reanudar la etapa e22);

10 e3) determinar un valor para una segunda función de evaluación, dependiendo dicho valor para la segunda función de evaluación de las diferencias entre los mapas actualizado y de referencia en las condiciones de adquisición virtuales que mejor se aproximen a dichas condiciones de adquisición reales y que resulten de la última ocurrencia del etapa e2), correspondiendo dicho valor para la segunda función de evaluación a una decisión de continuar o detener la búsqueda de un modelo de referencia que se aproxime a la colocación de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada con mayor precisión que dicho modelo de referencia a probar utilizado en la última ocurrencia del etapa e2), y si dicho valor para la segunda función de evaluación corresponde a una decisión de continuar dicha búsqueda, modificar el modelo de referencia a probar desplazando uno o más modelos de dientes y, a continuación, reanudar la etapa e2);

20 - el método comprende una etapa 9) en la que el punto de inflexión óptimo, preferiblemente el escenario óptimo y/o el perfil óptimo, se presentan a un médico, en particular un ortodoncista, y/o al paciente;

25 - en el etapa 1), se define un modelo digital tridimensional de referencia de una encía del que surgen dichos modelos de dientes, o "modelo de encía", y, en el etapa 4), se desplazan dichos modelos de dientes y se modifica dicho modelo de encía para deformar el modelo de referencia inicial;

- para deformar el modelo de referencia inicial, se calcula una deformación del modelo de encía a partir de dichos desplazamientos de dichos modelos de dientes,

30 - preferiblemente las operaciones 4) y/o 5) y/o 6) y/o 7) y/o 8), preferiblemente al menos las etapas 4) y 5) y preferiblemente 6), y preferiblemente 7) y preferiblemente 8) se llevan a cabo utilizando un ordenador;

35 - un ortodoncista controla preferiblemente el ordenador en el etapa 2);

La invención también hace referencia a un método de adaptación de una férula de ortodoncia, en el que se implementa un método de determinación de un punto de inflexión óptimo de acuerdo con la invención, y a continuación, en función del resultado de dicha evaluación, se fabrica una férula adaptada para al menos parte del tratamiento de ortodoncia de los dientes a partir de dicho punto de inflexión óptimo.

40 La invención también hace referencia a:

45 - un programa informático, y en particular una aplicación dedicada para teléfonos móviles, que comprende instrucciones de código de programa para la ejecución de una o más, preferiblemente todas, las operaciones 3) a 8), cuando dicho programa es ejecutado por un ordenador,

50 - un soporte informático en el que se registre un programa de este tipo, por ejemplo una memoria o un CD-ROM, y

- una herramienta informática, en particular un aparato personal, en particular un teléfono móvil o una tableta, en el que se carga un programa de este tipo.

55 Preferiblemente, la herramienta informática comprende un simulador de escenarios que puede crear escenarios, determinar perfiles de dichos escenarios y evaluar dichos escenarios con respecto a una regla de evaluación. Aún más preferiblemente, incluye una interfaz "hombre-máquina" y medios para determinar la regla de evaluación a partir de los datos introducidos mediante dicha interfaz.

60 La invención también hace referencia a un sistema que comprende

- un escáner tridimensional que puede producir un modelo de referencia inicial, y

65 - una herramienta informática, en particular un aparato personal, preferiblemente un teléfono móvil, que puede adquirir una imagen actualizada y cargado con un programa de acuerdo con la invención.

Definiciones

Por "tratamiento residual" se entiende la parte del tratamiento a partir del momento actual.

5 Por "paciente" se entiende cualquier persona a la que se aplique un método de acuerdo con la invención, esté o no enferma.

10 Las "condiciones de adquisición" especifican la posición y la orientación en el espacio de un aparato de adquisición de imágenes en relación con los dientes del paciente (condiciones de adquisición reales) o con un modelo tridimensional de los dientes del paciente (condiciones de adquisición virtuales), y preferiblemente la calibración de dicho aparato de adquisición de imágenes. Se dice que las condiciones de adquisición son "virtuales", o "simuladas", cuando corresponden a una simulación en la que el aparato de adquisición se encontraría en dichas condiciones de adquisición (colocación virtual y, preferiblemente, calibración virtual del aparato de adquisición).

15 La "calibración" de un aparato de impresión óptica se compone de todos los valores de los parámetros de calibración. Un "parámetro de calibración" es un parámetro intrínseco al aparato de adquisición (distinto de su posición u orientación), cuyo valor influye en la imagen adquirida. Preferiblemente, los parámetros de calibración se eligen del grupo formado por la apertura del diafragma, el tiempo de exposición, la distancia focal y la sensibilidad.

20 Un escáner 3D es un aparato utilizado para obtener una representación tridimensional de un objeto.

Por "imagen" entendemos una imagen bidimensional, como una fotografía. Una imagen está formada por píxeles.

25 Una imagen actualizada "corresponde" a una vista del modelo de referencia actualizado cuando esta vista es, en esencia, idéntica a dicha imagen actualizada.

"Comprender", "tener" o "presentar" se deben interpretar en sentido amplio y no restrictivo, salvo que se indique lo contrario.

Breve descripción de las figuras

Otras características y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto a partir de la siguiente descripción detallada y de un examen de los dibujos adjuntos en los que:

- 35
- la figura 1 representa diferentes tendencias temporales para un parámetro de colocación dental, en función de la naturaleza del tratamiento residual considerado;
 - la figura 2 representa un diagrama de flujo que ilustra la implementación de un método de predicción de acuerdo con la invención.
- 40

Descripción detallada

La operación 1) se realiza preferiblemente al inicio del tratamiento o antes de iniciarlo, y consiste en crear un modelo digital tridimensional de una arcada que contenga los dientes tratados, o "modelo de referencia inicial".

45 El modelo de referencia inicial es, por ejemplo, del tipo .stl o .obj, .DXF 3D, IGES, STEP, VDA o nube de puntos. Ventajosamente, un modelo de este tipo, denominado "3D" se puede observar desde cualquier ángulo.

50 El modelo de referencia inicial se puede preparar a partir de medidas tomadas en los propios dientes del paciente o en un modelo físico de sus dientes, como un modelo de escayola.

55 El modelo de referencia inicial se crea preferiblemente por medio de un aparato profesional, por ejemplo, un escáner 3D, operado preferiblemente por un profesional sanitario, por ejemplo, un ortodoncista o un laboratorio de ortodoncia. En una consulta de ortodoncia, el paciente o el modelo físico de sus dientes se puede colocar ventajosamente en una posición precisa y el aparato profesional se puede perfeccionar. El resultado es un modelo de referencia inicial altamente preciso. El modelo de referencia inicial proporciona preferiblemente información sobre la colocación de los dientes con un error inferior a 5/10 mm, preferiblemente inferior a 3/10 mm, más preferiblemente inferior a 1/10 mm.

60 En el modelo de referencia inicial, una parte que corresponde a un diente, o "modelo dental", está delimitada por un borde gingival que se puede desglosar en un borde gingival interno (en el lado del interior de la boca con respecto al diente), un borde gingival externo (orientado hacia el exterior de la boca con respecto al diente) y dos bordes gingivales laterales. Los modelos dentales se pueden definir según se describe, por ejemplo, en la solicitud internacional PCT/EP2015/074896.

65 Preferiblemente, el modelo de referencia inicial también modela la encía que encierra los dientes. La parte del modelo de referencia inicial que representa la encía se denomina "modelo de encía".

5 **La operación 2)** consiste en modificar el modelo de referencia inicial desplazando los modelos dentales hasta obtener una colocación deseada de los dientes, denominada "colocación objetivo". La colocación objetivo puede ser la deseada al final del tratamiento ("configuración final") o en una etapa intermedia predeterminada del tratamiento ("configuración intermedia").

10 Preferiblemente, la operación 2) también implica la deformación del modelo de encía. En una forma de realización preferida, la deformación del modelo de encía es, al menos en parte, el resultado de una simulación obtenida a partir del desplazamiento de los modelos de dientes. Ventajosamente, esto acelera la búsqueda de un modelo de referencia actualizado.

Preferiblemente, la operación 2), posterior a la operación 1), se realiza inmediatamente después de la operación 1).

15 El objetivo de las operaciones 3) y 4), posteriores a la operación 2), es actualizar el modelo de referencia inicial para que los modelos de dientes estén en la misma posición que los dientes reales en el momento actual.

En la operación 3), se toma una imagen actualizada de la parte de la arcada que contiene los dientes que se van a tratar por medio de un aparato de adquisición de imágenes en condiciones reales de adquisición.

20 El aparato de adquisición de imágenes es preferiblemente un teléfono móvil, una cámara denominada "conectada", un reloj denominado "inteligente" o "smartwatch", una tableta o un ordenador personal, fijo o portátil, que incluye un sistema de adquisición de imágenes, como una webcam o una cámara.

25 La adquisición la lleva a cabo preferiblemente el paciente o alguien cercano a él, pero puede realizarla cualquier otra persona, en particular un dentista u ortodoncista, preferiblemente sin imponer una colocación precisa del aparato de adquisición de imágenes en relación con los dientes.

30 Preferiblemente, la imagen actualizada es una fotografía o se extrae de una película. Preferiblemente es en color, preferiblemente con colores reales.

Preferiblemente, en la operación 3), se realiza el etapa b) descrito en el documento PCT/EP2015/074896.

35 **La operación 4)**, posterior a la operación 3), consiste preferiblemente en un proceso iterativo según el cual, en cada iteración, se desplazan uno o más modelos de dientes, determinándose a continuación las condiciones óptimas de observación para el modelo de referencia inicial así modificado (denominado "modelo de referencia a probar"), definiéndose las condiciones óptimas de observación como las condiciones que permiten observar el modelo de referencia a probar de manera que la vista de dicho modelo se aproxime lo más posible a la imagen actualizada.

40 Preferiblemente, en cada iteración, el modelo de encía también se deforma para que el modelo de referencia inicial modificado por el desplazamiento de los modelos de dientes y la deformación del modelo de encía sea lo más compatible posible con la imagen actualizada. En una forma de realización, se calcula una primera deformación del modelo de encía en función del desplazamiento de los modelos de dientes. Esta primera deformación puede ser suficiente. En caso contrario, se complementa con una segunda deformación, preferiblemente determinada por medio de un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente por recocido simulado.

45 Se llevan a cabo preferiblemente las etapas c) a e) descritas en el documento PCT/EP2015/074896:

50 c) análisis de la imagen actualizada y elaboración de un mapa actualizado relativo a la información discriminatoria;

d) opcionalmente, determinar, para la imagen actualizada, unas condiciones de adquisición virtuales bastas que se aproximen a las condiciones de adquisición reales de dicha imagen actualizada;

55 e) buscar, para la imagen actualizada, un modelo de referencia actualizado que corresponda a la colocación de los dientes en el momento de la adquisición de la imagen actualizada, realizándose la búsqueda preferiblemente por medio de un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente por recocido simulado.

60 Son aplicables todas las características de las etapas c) a e) descritas en el documento PCT/EP2015/074896.

Según la etapa c), la imagen actualizada se analiza para producir un mapa actualizado relativo al menos a un elemento de información discriminatoria.

65 La "información discriminatoria" es la información característica que puede extraerse de una imagen ("*rasgo de imagen*"), normalmente mediante el tratamiento informático de la imagen.

La información discriminadora puede tener un número variable de valores. Por ejemplo, una información de contorno puede ser igual a 1 o 0 de acuerdo con si un píxel pertenece o no a un contorno. La información de brillo puede adoptar un gran número de valores. La información discriminadora se puede extraer y cuantificar procesando la imagen.

5 El mapa actualizado representa información discriminadora en el marco de referencia de la imagen actualizada. La información discriminadora se elige preferiblemente del grupo formado por información de contorno, información de color, información de densidad, información de distancia, información de brillo, información de saturación, información de reflexión y combinaciones de estas informaciones.

10 En la etapa opcional d), se evalúan aproximadamente las condiciones reales de adquisición de la imagen actualizada en la operación 3), es decir, la posición y la orientación en el espacio del aparato de adquisición con respecto a los dientes y su calibración. Ventajosamente, la etapa d) permite limitar el número de pruebas de las condiciones de adquisición virtuales durante la etapa e) y, por consiguiente, permite acelerar considerablemente la etapa e).

15 Se utilizan preferiblemente una o más reglas heurísticas. Por ejemplo, las condiciones correspondientes a una posición del aparato de adquisición de imágenes detrás de los dientes o a una distancia de los dientes superior a 1 m se excluyen preferiblemente de las condiciones de adquisición virtuales susceptibles de ser probadas en la etapa e). En una forma de realización preferida, las marcas de registro representadas en la imagen actualizada se utilizan para determinar una región de espacio, en esencia, cónica que delimita las condiciones de adquisición virtuales susceptibles de ser probadas en la etapa e), o "cono de prueba".

20 El objetivo de la etapa e) es modificar el modelo de referencia inicial hasta obtener un modelo de referencia actualizado que corresponda a la imagen actualizada, es decir, tal que los modelos de dientes se puedan observar según se representan en la imagen actualizada. Idealmente, el modelo de referencia actualizado es, por tanto, un modelo de referencia tridimensional digital a partir del cual se podría haber tomado la imagen actualizada si hubiera sido real.

25 Por consiguiente, se prueba una sucesión de modelos de referencia "a probar", dependiendo la elección de un modelo de referencia a probar preferiblemente del nivel de correspondencia de los modelos de referencia "a probar" previamente probados con la imagen actualizada. Esta elección se realiza preferiblemente siguiendo un método de optimización conocido, en particular elegido entre los métodos de optimización metaheurísticos, preferiblemente evolutivos, en particular en los métodos de recocido simulado. En particular, se pueden utilizar los métodos de optimización descritos en el documento PCT/EP2015/074896.

35 Preferiblemente, la etapa e) comprende los siguientes etapas:

e1) definir un modelo de referencia que se probará como modelo de referencia inicial y, a continuación,

e2) según las etapas siguientes, probar las condiciones virtuales de adquisición con el modelo de referencia a probar con el fin de aproximar finamente dichas condiciones reales de adquisición;

40 e21) determinar las condiciones de adquisición virtuales a probar;

e22) producir una imagen de referencia bidimensional del modelo de referencia a probar bajo dichas condiciones virtuales de adquisición a probar;

45 e23) procesar la imagen de referencia para producir al menos un mapa de referencia que represente, al menos parcialmente, dicha información discriminadora;

50 e24) comparar los mapas actualizado y de referencia para determinar un valor para una primera función de evaluación; dependiendo dicho valor para la primera función de evaluación de las diferencias entre dichos mapas actualizado y de referencia y correspondiendo a una decisión de continuar o detener la búsqueda de condiciones de adquisición virtuales que se aproximen a dichas condiciones de adquisición reales con mayor precisión que dichas condiciones de adquisición virtuales a probar determinadas en la última ocurrencia del etapa e21);

55 e25) si dicho valor para la primera función de evaluación corresponde a una decisión de continuar dicha búsqueda, modificar las condiciones de adquisición virtual a probar y, a continuación, reanudar la etapa e22);

60 e3) determinar un valor para una segunda función de evaluación, dependiendo dicho valor para la segunda función de evaluación de las diferencias entre los mapas actualizado y de referencia en las condiciones de adquisición virtuales que mejor se aproximen a dichas condiciones de adquisición reales y que resulten de la última ocurrencia del etapa e2), correspondiendo dicho valor para la segunda función de evaluación a una decisión de continuar o detener la búsqueda de un modelo de referencia que se aproxime a la colocación de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada con mayor precisión que dicho modelo de referencia a probar utilizado en la última ocurrencia del etapa e2), y si dicho valor para la segunda función de

evaluación corresponde a una decisión de continuar dicha búsqueda, modificar el modelo de referencia a probar desplazando uno o más modelos de dientes y, a continuación, reanudar la etapa e2).

Las etapas e1) a e3) se describen detalladamente en los documentos PCT/EP2015/074896, o WO2016066651.

Según las etapas c) a e), el modelo de referencia actualizado es un modelo tridimensional resultante de modificaciones sucesivas del modelo de referencia inicial de gran precisión. Ventajosamente, es a su vez muy preciso, aunque se haya obtenido a partir de simples fotografías tomadas sin precauciones particulares.

Estas etapas permiten, por tanto, a partir de una o más imágenes simples de los dientes, tomadas sin colocación previa precisa del aparato de adquisición de imágenes en relación con los dientes, por ejemplo, a partir de una fotografía tomada por el paciente, evaluar con precisión la posición de los dientes en el momento actual. Esta evaluación también se puede realizar a distancia, a partir de simples fotografías tomadas con un teléfono móvil, sin que el paciente tenga que desplazarse especialmente al ortodoncista.

La operación 4) produce un modelo de referencia actualizado que representa los dientes con un alto grado de precisión, en su posición en el momento actual.

De acuerdo con una primera forma de realización, el método continúa con la sucesión de las etapas 5') a 8'):

En el etapa 5'), se determina un conjunto de escenarios de tratamiento residuales, es decir, adaptados para lograr una colocación del diente que sea, en esencia, idéntica a la de los modelos de diente correspondientes en el modelo de referencia objetivo.

La figura 1 representa, por ejemplo, tres tendencias temporales de la coordenada x de un punto de un diente en el espacio, en función del tratamiento residual, es decir, el tratamiento adoptado a partir del momento actual t_0 . La colocación objetivo de este punto se alcanza cuando x es igual a $x_{objetivo}$.

La curva en S_0 representa la evolución de x si se continúa el tratamiento exclusivamente con un aparato de ortodoncia de bráquets y arco. Esta evolución es típica de este tipo de aparatos de ortodoncia, con una eficacia progresivamente menor. El tratamiento residual es el más rápido, alcanzándose la colocación objetivo en el momento t_{s0} . Sin embargo, la duración de utilización de un aparato de ortodoncia de bráquets y arco ($t_{s0} - t_0$) es la más larga.

La curva en S_1 representa un escenario inicial de tratamiento mixto. En este escenario, el aparato de ortodoncia de bráquets y arco que se llevaba anteriormente se sustituye en el momento actual por una férula. El punto de inflexión t_{B1} es, por tanto, igual a t_0 . El tratamiento residual continúa entonces exclusivamente con una o más férulas. La evolución de x es, por tanto, en esencia, lineal, lo que ilustra la eficacia típica de este tipo de aparato de ortodoncia. La duración de utilización de un aparato de ortodoncia de bráquets y arco de alambre es ventajosamente nula. El tratamiento residual, sin embargo, es el más lento, alcanzándose la colocación objetivo en el momento t_{s1} .

La curva S_2 representa un segundo escenario de tratamiento mixto. En este escenario, el aparato de ortodoncia de bráquets y arco se lleva durante una fase de arco P_{A2} hasta un punto de inflexión t_{B2} y, a continuación, se sustituye por una férula. A continuación, el tratamiento residual continúa exclusivamente con una o más férulas (fase de férulas P_{G2}).

La duración de utilización de un aparato de ortodoncia de bráquets y arco ($t_{s2} - t_{B2}$) y la duración del tratamiento residual son intermedias entre las de las dos situaciones anteriores.

Preferiblemente, se determinan más de 3, más de 5, más de 10, más de 50 o más de 100 escenarios de tratamiento residual mixto.

Los escenarios de tratamiento residual se pueden determinar por un ortodoncista y/o por medio de un software de simulación que pueda simular el efecto de diferentes aparatos de ortodoncia en función de la colocación actualizado de los dientes y de la colocación objetivo, por ejemplo, el software Insignia™ de la empresa Ormco™.

En el etapa 6'), se determina un perfil para cada escenario determinado en el etapa 5'). Un "perfil" consiste en un conjunto de valores para parámetros de evaluación, es decir, parámetros que son relevantes para evaluar un escenario en función de una regla de evaluación.

Los parámetros de evaluación pueden estar relacionados con la duración, el coste, el dolor y/o la comodidad y/o la gravedad clínica asociada a cada escenario.

El dolor se puede medir por medio de un coeficiente de dolor asociado al tratamiento, por ejemplo, evaluado a partir de encuestas a personas que han recibido un tratamiento similar.

La comodidad puede hacer referencia en particular al impacto estético del tratamiento. Por ejemplo, el coeficiente de comodidad puede ser la relación entre la duración total de las fases de férula y la duración total de las fases de arco para el tratamiento residual.

5 El perfil del escenario S_1 puede ser, por ejemplo (Duración de tratamiento residual = 3/10; Coeficiente de comodidad = 9/10; Coeficiente de dolor = 8/10; Coste = 7/10).

El perfil del escenario S_2 puede ser, por ejemplo (Duración de tratamiento residual = 7/10; Coeficiente de comodidad = 6/10; Coeficiente de dolor = 5/10; Coste = 9/10).

10 **En la etapa 7')**, los perfiles se evalúan con respecto a la regla de evaluación. La regla de evaluación la establece preferiblemente el paciente, en función de la importancia que conceda a los parámetros de evaluación. Se puede establecer en cualquier momento antes de la etapa 7'). Preferiblemente, el aparato de adquisición formula preguntas al paciente y las respuestas a estas preguntas le permiten definir la regla de evaluación.

15 El perfil preferido, en términos de la regla de evaluación, se dice que es "óptimo".

Una regla de evaluación puede establecer una restricción. Por ejemplo, una regla de evaluación puede exigir que la duración del tratamiento residual sea inferior a 6 meses, o que todas las fases del arco del tratamiento completo duren menos de 2 meses.

Una regla de evaluación puede establecer una restricción condicional. Por ejemplo, una regla de evaluación puede exigir que, si la duración del tratamiento residual es superior a 6 meses, todas las fases de arco del tratamiento residual no deben durar más de 2 meses.

25 Una regla de evaluación puede establecer una regla de optimización. Por ejemplo, una regla de evaluación puede exigir que se debe buscar el tratamiento residual más corto, con una duración máxima de tratamiento con un aparato de ortodoncia de bráquets y arco de 1 mes.

30 Con este último ejemplo, el escenario S_2 podría ser óptimo si la duración entre t_{B2} y t_0 es de 1 mes.

Por supuesto, una regla de evaluación puede ser compleja y establecer, por ejemplo, que todas las fases del arco del tratamiento residual lleven el menor tiempo posible, con un coste total determinado.

35 Una regla de evaluación podría ser, en el ejemplo de la figura 1, minimizar la función $F = k_1 \cdot \text{Duración residual de tratamiento} + k_2 \cdot \text{Coeficiente de comodidad} + k_3 \cdot \text{Coeficiente de dolor} + k_4 \cdot \text{Coste}$, siendo determinados los coeficientes de ponderación k_i preferiblemente por el paciente o por un algoritmo, en función de las respuestas del paciente a las preguntas.

40 Si $k_1 = 1$, $k_2 = 2$, $k_3 = 1$ y $k_4 = 3$, la función F para los escenarios S_1 y S_2 es igual a $F(S_1) = 50$ y $F(S_2) = 51$ respectivamente.

En la etapa 8'), se comparan las evaluaciones de perfiles realizadas en la etapa 7') para seleccionar un escenario considerado óptimo en términos de la regla de evaluación. A continuación, se puede proponer el punto de inflexión "óptimo" t_B^* asociado a este escenario óptimo, por ejemplo, mostrándolo en una pantalla.

45 En el ejemplo de la figura 1, $F(S_1) (= 50)$ es inferior a $F(S_2) (= 51)$. El perfil de S_2 es, por tanto, óptimo, S_2 es el escenario óptimo y el punto de inflexión "óptimo" t_B^* es, por tanto, t_{B2} .

50 En una forma de realización preferida, las operaciones 5) a 7) no se realizan de forma sucesiva. Las operaciones 5) a 8) se realizan preferiblemente en forma de etapas 5") a 8").

Más concretamente, se determina un primer escenario y se evalúa su perfil antes de determinar un segundo escenario. Ventajosamente, el segundo escenario se puede determinar en función de la evaluación del primer escenario.

55 Preferiblemente, el nuevo escenario de tratamiento residual se determina a partir de los escenarios cuyos perfiles se evaluaron previamente. Por ejemplo, si los dos escenarios evaluados anteriormente muestran que el aumento de la duración de las fases de arco empeora la puntuación de los perfiles con respecto a la regla de evaluación, por ejemplo porque esta regla está fuertemente influenciada por un coeficiente de comodidad, el nuevo escenario se buscará entre los escenarios que presentan una duración total reducida de las fases de arco.

60 Esto acelera considerablemente la búsqueda de un escenario óptimo. Se pueden utilizar todos los métodos de optimización conocidos. La búsqueda del escenario óptimo se realiza preferiblemente por medio de un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente mediante recocido simulado, preferiblemente por medio de un método descrito en el documento PCT/EP2015/074896.

65

Las etapas 5") a 8") son especialmente adecuadas cuando la creación de escenarios y la evaluación de perfiles de escenarios se automatizan en un simulador. Preferiblemente, dicho simulador está programado en una herramienta informática, por ejemplo, un ordenador o el aparato de adquisición, en el que se ha programado la regla de evaluación.

5 Un simulador de escenarios se puede crear a partir de análisis estadísticos de datos históricos. En particular, se puede utilizar un análisis estadístico de datos históricos para simular el efecto de un aparato de ortodoncia determinado sobre la colocación de los dientes, pero también para definir un perfil, por ejemplo, un coeficiente de dolor o un coeficiente de comodidad para el tratamiento residual en función de la duración de las fases de arco, o un coste del tratamiento completo en función de las duraciones de las fases de arco y férula.

10 En una forma de realización preferida, el método comprende una etapa 9) en la que el escenario óptimo y/o el perfil óptimo se presentan al paciente, preferiblemente en una pantalla, preferiblemente en la pantalla de su teléfono móvil. Por supuesto, el método puede conducir a la determinación de varios escenarios óptimos. Preferiblemente, todos los escenarios óptimos y/o perfiles óptimos se presentan al paciente, preferiblemente en el aparato de adquisición utilizado en la etapa 3).

15 Si el paciente no está satisfecho, puede establecer una nueva regla de evaluación, por ejemplo, modificando los coeficientes k_i , y reanudar el método en el etapa 5') o 5").

20 El punto de inflexión óptimo para el escenario óptimo seleccionado permite adaptar el tratamiento residual con precisión a las necesidades del paciente. En particular, es posible fabricar una o más férulas que se puedan utilizar a partir de ese momento.

25 Como queda claro, la invención proporciona un medio eficaz para optimizar el tratamiento de ortodoncia mixto en función de una regla de evaluación. Ventajosamente, esta regla de evaluación puede tener en cuenta numerosos parámetros de evaluación, lo que permite responder con precisión a las expectativas específicas del paciente. Por último, un método de acuerdo con la invención puede programarse, en particular en un teléfono móvil. En cualquier momento, el paciente puede realizar evaluaciones a distancia de diferentes escenarios y decidir en consecuencia el punto de inflexión. El método se puede llevar a cabo tantas veces como se desee, por ejemplo, más de 1 vez, más de 30 2 veces o más de 5 veces al mes.

El número de citas de ortodoncia también se reduce al mínimo.

REIVINDICACIONES

5 1. Método para determinar, mediante la implementación de un programa informático, un punto de inflexión óptimo para un tratamiento de ortodoncia mixto de los dientes de un paciente, comprendiendo dicho método las siguientes operaciones:

10 1) preferiblemente al inicio del tratamiento o antes del inicio del tratamiento, realizar un modelo tridimensional digital de al menos una parte de una arcada que contenga dichos dientes, o "modelo de referencia inicial", y para cada uno de dichos dientes, definir un modelo de referencia tridimensional digital de dicho diente en el modelo de referencia inicial, o "modelo de diente";

2) después de la operación 1), preferiblemente al inicio del tratamiento o antes del inicio del tratamiento, deformar el modelo de referencia inicial, desplazando los modelos de dientes, hasta que dichos modelos de dientes se encuentren en una colocación objetivo, con el fin de obtener un "modelo de referencia objetivo",

15 el método se **caracteriza por** las siguientes operaciones:

20 3) después de la operación 2), en un momento de una fase del tratamiento durante la cual el paciente lleva un aparato de ortodoncia de bráquets y arco, denominado "instante actual", adquirir, por medio de un dispositivo de adquisición de imágenes, al menos una imagen bidimensional de dichos dientes, denominada "imagen actualizada", en condiciones reales de adquisición;

4) deformar el modelo de referencia inicial, desplazando los modelos de dientes, hasta que dicha al menos una imagen actualizada corresponda a una vista del modelo de referencia inicial deformado de este modo, denominado "modelo de referencia actualizado", realizándose preferiblemente la búsqueda del modelo de referencia actualizado por medio de un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente por recocido simulado;

25 5) determinar, a partir de dicho modelo de referencia actualizado y de dicho modelo de referencia objetivo, varios escenarios de tratamiento residuales para desplazar dichos dientes desde su posición representada en el modelo de referencia actualizado hasta su posición representada en el modelo de referencia objetivo, comprendiendo cada escenario, a partir de un punto de inflexión, al menos una fase de tratamiento por medio de una férula de ortodoncia;

30 6) determinar, para cada escenario, un perfil que comprenda al menos un valor para un parámetro de evaluación seleccionado del grupo formado por:

- la duración del tratamiento residual de dicho escenario;
- la duración del tratamiento completo;
- un coeficiente de complejidad clínica o "puntuación de gravedad";
- 35 - un coeficiente de dolor para el tratamiento residual de dicho escenario,
- un coeficiente de dolor para el tratamiento completo;
- la duración de la(s) fase(s) de tratamiento por medio de un arco de ortodoncia de bráquets y arco durante el tratamiento residual;
- un coeficiente de comodidad para el tratamiento residual de dicho escenario,
- 40 - un coeficiente de comodidad para el tratamiento completo;
- un coste para el tratamiento residual de dicho escenario,
- un coste para el tratamiento completo,
- en función de los parámetros de evaluación anteriores;

45 7) evaluación de cada perfil por medio de una regla de evaluación; y

8) utilizar el escenario con el perfil óptimo, o "escenario óptimo", para determinar un punto de inflexión óptimo para sustituir el aparato de ortodoncia de bráquets y arco por una férula.

50 2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que se determinan más de 50 escenarios en la operación 5).

3. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las operaciones 5) a 8) están anidadas para proceder según las etapas 5") a 8") siguientes:

55 5") determinar, a partir de dicho modelo de referencia actualizado y de dicho modelo de referencia objetivo, un escenario de tratamiento residual para desplazar dichos dientes desde su posición representada en el modelo de referencia actualizado hasta su posición en el modelo de referencia objetivo, escenario de tratamiento residual que comprende, a partir de un punto de inflexión, al menos una fase de tratamiento por medio de una férula de ortodoncia y, opcionalmente, una o más fases de tratamiento por medio de un arco de ortodoncia de bráquets y arco;

60 6") determinar, para dicho escenario, un perfil que comprenda al menos un valor para un parámetro de evaluación seleccionado del grupo formado por:

- la duración del tratamiento residual de dicho escenario;
- la duración del tratamiento completo;
- un coeficiente de complejidad clínica o "puntuación de gravedad";
- 65 - un coeficiente de dolor para el tratamiento residual de dicho escenario,
- un coeficiente de dolor para el tratamiento completo;

- la duración de la(s) fase(s) de tratamiento por medio de un arco de ortodoncia de bráquets y arco durante el tratamiento residual;
 - un coeficiente de comodidad para el tratamiento residual de dicho escenario,
 - un coeficiente de comodidad para el tratamiento completo;
 - 5 - un coste para el tratamiento residual de dicho escenario,
 - un coste para el tratamiento completo,
 - en función de los parámetros de evaluación anteriores;
- 7") evaluar el perfil por medio de al menos una regla de evaluación y, si el perfil no es óptimo con respecto a la regla de evaluación, determinar un nuevo escenario de tratamiento residual y reanudación de la etapa 6");
- 10 8") determinar, a partir del escenario con el perfil óptimo, o "escenario óptimo", un punto de inflexión óptimo para sustituir el aparato de ortodoncia de bráquets y arco por una férula.
- 15 4. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en la operación 3), la imagen actualizada se toma por medio de un aparato de adquisición de imágenes seleccionado del grupo formado por un teléfono móvil, una cámara conectada, un reloj inteligente, una tableta y/o un ordenador personal, fijo o portátil.
- 20 5. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la operación 4) comprende las etapas siguientes:
- c) análisis de la imagen actualizada y elaboración de un mapa actualizado relativo a la información discriminatoria;
 - d) opcionalmente, determinar, para la imagen actualizada, unas condiciones de adquisición virtuales bastas que se aproximen a las condiciones de adquisición reales de dicha imagen actualizada;
 - e) buscar, para la imagen actualizada, un modelo de referencia actualizado que corresponda a la colocación de los
- 25 dientes en el momento de la adquisición de la imagen actualizada, realizándose la búsqueda preferiblemente por medio de un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente por recocido simulado.
6. Método de acuerdo con la reivindicación inmediatamente anterior, en el que la etapa e) comprende las etapas siguientes:
- 30 e1) definir un modelo de referencia que se probará como modelo de referencia inicial y, a continuación,
- e2) según las etapas siguientes, probar las condiciones virtuales de adquisición con el modelo de referencia a probar con el fin de aproximar finamente dichas condiciones reales de adquisición;
- 35 e21) determinar las condiciones de adquisición virtuales a probar;
- e22) producir una imagen de referencia bidimensional del modelo de referencia a probar bajo dichas condiciones virtuales de adquisición a probar;
- e23) procesar la imagen de referencia para producir al menos un mapa de referencia que represente, al menos parcialmente, dicha información discriminatoria;
- 40 e24) comparar los mapas actualizado y de referencia para determinar un valor para una primera función de evaluación; dependiendo dicho valor para la primera función de evaluación de las diferencias entre dichos mapas actualizado y de referencia y correspondiendo a una decisión de continuar o detener la búsqueda de condiciones de adquisición virtuales que se aproximen a dichas condiciones de adquisición reales con mayor precisión que dichas condiciones de adquisición virtuales a probar determinadas en la última ocurrencia del etapa e21);
- 45 e25) si dicho valor para la primera función de evaluación corresponde a una decisión de continuar dicha búsqueda, modificar las condiciones de adquisición virtual a probar y, a continuación, reanudar la etapa e22);
- e3) determinar un valor para una segunda función de evaluación, dependiendo dicho valor para la segunda función de evaluación de las diferencias entre los mapas actualizado y de referencia en las condiciones de adquisición virtuales que mejor se aproximen a dichas condiciones de adquisición reales y que resulten de la última ocurrencia del etapa e2), correspondiendo dicho valor para la segunda función de evaluación a una decisión de continuar o detener la
- 50 búsqueda de un modelo de referencia que se aproxime a la colocación de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada con mayor precisión que dicho modelo de referencia a probar utilizado en la última ocurrencia del etapa e2), y si dicho valor para la segunda función de evaluación corresponde a una decisión de continuar dicha búsqueda, modificar el modelo de referencia a probar desplazando uno o más modelos de dientes y, a continuación, reanudar la etapa e2).
- 55 7. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende una etapa 9) en la que se presentan al paciente el punto de inflexión óptimo, preferiblemente el escenario óptimo y/o el perfil óptimo.
- 60 8. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que, en el etapa 1), se define un modelo digital tridimensional de referencia de una encía del que surgen dichos modelos de dientes, o "modelo de encía", y, en el etapa 4), se desplazan dichos modelos de dientes y se modifica dicho modelo de encía para deformar el modelo de referencia inicial.
- 65 9. Un método de acuerdo con la reivindicación inmediatamente precedente, en el que, para deformar el modelo de referencia inicial, se calcula una deformación del modelo de encía a partir de dichos desplazamientos de dichos modelos de dientes.

- 5 10. Herramienta informática, preferiblemente un teléfono móvil, que comprende un programa que incluye instrucciones de código de programa para la ejecución de las operaciones 3) a 8) de un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, cuando se ejecuta dicho programa.
11. Herramienta informática de acuerdo con la reivindicación inmediatamente precedente, que comprende un simulador de escenarios que puede crear escenarios, determinar perfiles de dichos escenarios y evaluar dichos escenarios con respecto a una regla de evaluación.
- 10 12. Herramienta informática de acuerdo con la reivindicación inmediatamente anterior, que comprende una interfaz "hombre-máquina" y medios para determinar la regla de evaluación a partir de los datos introducidos con dicha interfaz.

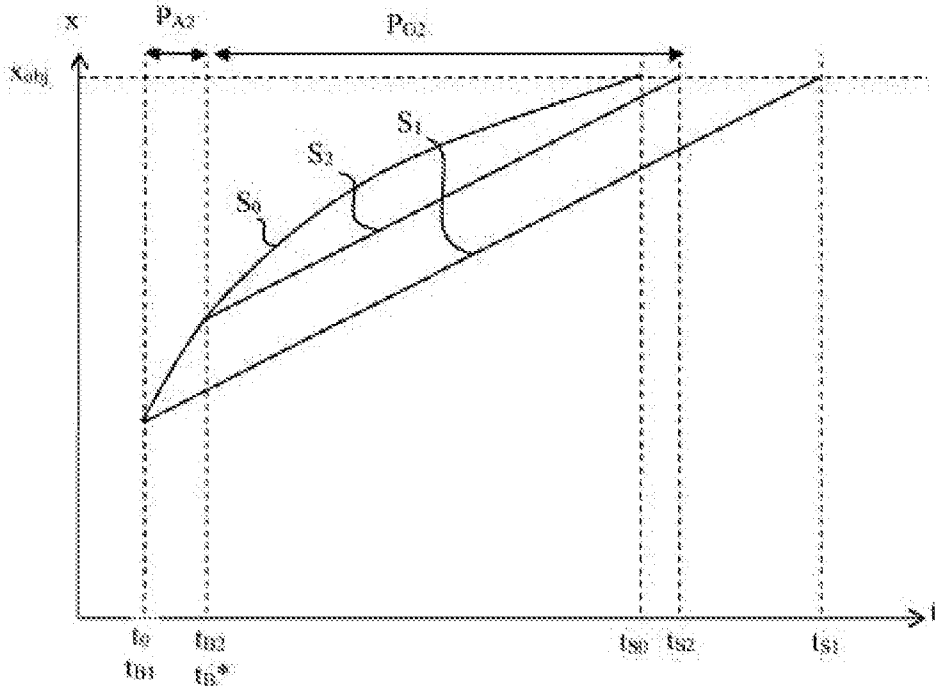


Fig. 1

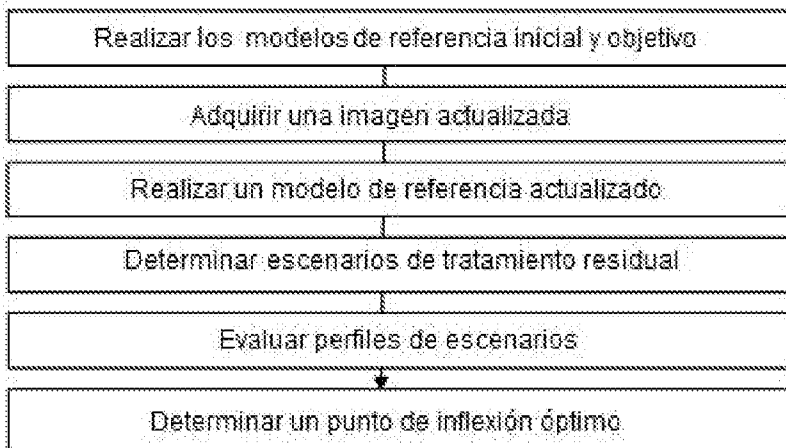


Fig. 2